VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЕМНИКОВ ВОЗДУШНЫХ ДАВЛЕНИЙ

Сборник лабораторных работ

для студентов направления 5515

Составили: И.П. Ефимов
О.И. Низовцева

Ульяновск 1999

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы предназначены для закрепления знаний, полученных при изучении курса, приобретению навыков по постановке и проведению аэродинамических экспериментов.

При выполнении каждой работы обязательно предварительное ознакомление с основами теории по данной теме.

До начала выполнения экспериментальной части необходимо внимательно ознакомиться с экспериментальной установкой и исследуемым оборудованием.

Отчет по лабораторной работе выполняется на отдельных листах и должен содержать титульный лист. В отчете необходимо указать цель работы, схему установки, порядок выполнения работы, представить результаты измерений и вычислений в виде таблиц, привести соответствующие расчетные схемы, диаграммы, сделать выводы по результатам исследований.

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Доступ студентов к лабораторным занятиям производится только после инструктажа по технике безопасности, о чем делается соответствующая запись в специальном журнале. Лица, нарушившие установленные правила, отстраняются от выполнения работы и привлекаются к уголовной ответственности.

Включение оборудования под напряжение может быть произведено только после предварительной проверки и разрешения преподавателя. Работа на неисправном оборудовании запрещается. После окончания занятий необходимо сообщить об этом лаборанту.

З А П Р Е Щ А Е Т С Я: производить переключения (подключения) кабелей и блоков на рабочем оборудовании, а также в отключенных схемах без предварительной разрядки их конденсаторов. Прикасаться к неизолированным частям проводников и аппаратуры, находящейся под напряжением. Оставлять без присмотра включенное оборудование, снимать или перевешивать предупреждающие или запрещающие таблицы.

При несчастном случае необходимо обесточить поражающее оборудование и снять напряжение со щита лаборатории. Оказать первую помощь пострадавшему. Доложить руководителю работ о происшедшем. Вызвать по телефону 03 скорую помощь.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА В ТРУБОПРОВОДАХ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Цель работы: ознакомиться с применением уравнения Бернулли для расчета энергетических характеристик потока и получить практические навыки расчета величин статического давления и скоростного напора в трубке тока переменного сечения.

1.1. Общие сведения

1.1.1. Понятия, определения. Малыми дозвуковыми скоростями считаются скорости потока V, если

$$V < (0,3 \dots 0,4)\eta , \tag{1.1}$$

где η – скорость распространения звука.

При выполнении неравенства (1) газ можно считать несжимаемым, т.е. рассматривать его как среду с постоянной плотностью $\rho=const$. Реальное изменение плотности при этом не превышает 5 – 7 % и существенной погрешности в расчеты не вносит.

Линии тока – траектории (линии) движения малых частиц среды, в каждой точке которых вектор скорости направлен по касательной.

Замкнутая поверхность, образованная линиями тока, называется трубкой тока. Трубка тока не пропускает через свою поверхность газ.

1.1.2. Уравнения движения газа без учета потерь энергии потока

Допустим, что:

1) движение газа стационарно, т.е. не зависит от времени;
2) газ является сплошной средой, т.е. занимает все пространство в трубке тока;
3) вязкость газа равна нулю.

Для произвольной трубки тока (рис. 1.1.) из закона сохранения массы и непрерывности сплошной среды следует:

$$\rho V_1 S_1 = \rho V_2 S_2 \quad (1.2) \qquad \text{или} \qquad V_1 S_1 = V_2 S_2 \quad (1.3)$$

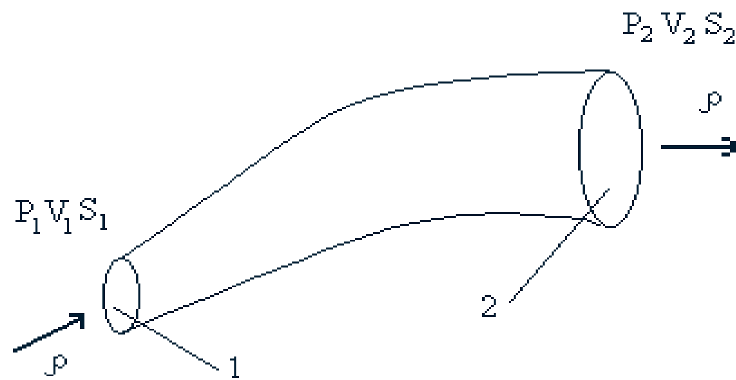


Рис. 1.1 Трубка тока

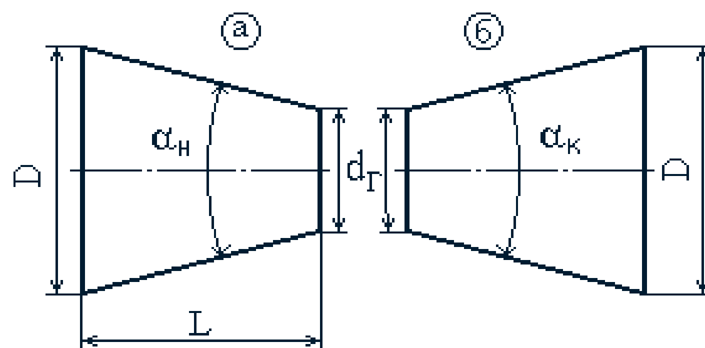


Рис. 1.2 Конфузорный (а) и диффузорный (б)
участки трубопроводов

Уравнения (1.2) и (1.3) называются уравнениями неразрывности или уравнениями постоянства расхода.

Из закона сохранения энергии в предположении адиабатического течения, имеем:

$$P_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} = P_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} = P_П \,, \qquad (1.4)$$

где P_1, P_2 - потенциальная энергия потока (статическое давление) в сечениях 1 и 2;

V_1, V_2 - скорости потока в сечениях 1 и 2;

$P_П$ - полная энергия (полное давление) потока, равная сумме потенциальной и кинетической энергий газа.

Уравнение (1.4) называется уравнением Бернулли для невязкого газа.

1.1.3. Уравнение Бернулли с учетом потерь энергии потока

Реальный газ обладает вязкостью, вследствие чего при его движении происходит безвозвратная потеря части энергии потока. Уравнение Бернулли имеет вид:

$$P_1 + \rho\frac{V_1^2}{2} = P_2 + \rho\frac{V_2^2}{2} + \Delta P = P_П \ , \qquad (1.5)$$

где ΔP – потери потенциальной энергии (статического давления) на участке трубки тока между сечениями 1 и 2.

Следует отметить, что потери кинетической энергии не происходит. Иначе нарушился бы закон постоянства расхода (1.3).

1.1.4. Потери энергии потока

Потери энергии (напора) потока, выраженные в уравнении Бернулли (1.5) членом ΔP, делятся на два вида:

1) потери, пропорциональные длине потока и обусловленные силами трения между газом и стенками трубопровода, называемые потерями энергии по длине (потерями на трение) $\Delta P_{тр}$;
2) потери, обусловленные изменением геометрии трубопровода (сужение, расширение, повороты, разделение потока и др.), называемые местными потерями напора $\Delta P_{м}$.

Потери напора $\Delta P_{тр}$ могут быть определены по формуле Дарси:

$$\Delta P_{TP} = \lambda\frac{L}{d_Г}\rho\frac{V^2}{2} = \gamma_{TP}\rho\frac{V^2}{2} \ , \qquad (1.6)$$

где L – длина участка трубопровода, на котором определяются потери напора;
$d_Г$ – гидравлический диаметр трубы или канала;
λ - коэффициент гидравлического трения определяемый теоретическим или опытным путем;
γ_{TP} - коэффициент сопротивления трения.

Коэффициент λ зависит в большей степени от шероховатости стенок трубопровода и числа Рейнольдса $Re = (Vd_Г)/\nu$, где ν – коэффициент кинематической вязкости газа (для воздуха $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ м^2/с).

Местные потери напора определяются по формуле Вейсбаха:

$$\Delta P_M = \gamma_M \rho \frac{V^2}{2}, \qquad (1.7)$$

где $\gamma_М$ - коэффициент местного сопротивления.

С учетом (1.6) и (1.7) имеем:

$$\Delta P = \Delta P_{TP} + \Delta P_M = (\gamma_{TP} + \gamma_M) \rho \frac{V^2}{2} = \gamma_C \rho \frac{V^2}{2}, \qquad (1.8)$$

где $\gamma_С$ - суммарный коэффициент гидросопротивления.

Выражение (1.8) известно под названием формулы Дарси-Вейсбаха.

Примечание: коэффициенты $\gamma_{ТР}$, $\gamma_М$, $\gamma_С$ принято называть коэффициентами гидравлического сопротивления независимо от характера движущейся среды.

Обычно для недлинных трубопроводов $\gamma_М >> \gamma_{ТР}$. Поэтому в данном случае потерями на трение можно пренебречь.

1.1.5. Конфузорные и диффузорные участки трубопроводов

Если необходимо перейти от одного диаметра трубопровода к другому, часто используют переходные участки – конфузоры и диффузоры (рис. 1.2). Параметры этих участков (коэффициент диафрагмы $m = d^2_Г / D_2$, угол сужения $\alpha_К$, угол раскрытия диффузора $\alpha_Д$) обычно стремятся выбрать такими, чтобы коэффициенты их местных сопротивлений $\gamma_К$ и $\gamma_Д$ были минимальными. Уменьшение этих коэффициентов достигается увеличением m и выбором углов $\alpha_К$ и $\alpha_Д$ из диапазона: $\alpha_К = 40…60^\circ$ и $\alpha_Д = 6…14^\circ$. Коэффициент $\gamma_Д$ уменьшается при уменьшении $\alpha_Д$. Однако при этом увеличивается длина диффузора, что обуславливает минимальное значение $\alpha_Д$ порядка шести градусов.

В общем случае $\gamma_Д$ и $\gamma_К$ зависят от V (числа Рейнольдса). Зависимость $\gamma_К$ от V проявляется только на малых скоростях ($Re<10^4$). Зависимость $\gamma_Д$ от Vсохраняется до значительно больших чисел Re.

Примечание: в справочниках по коэффициентам гидросопротивлений значения $\gamma_К$ и $\gamma_Д$ приводятся к скорости в минимальном (гидравлическом) сечении.

1.1.6. Применение уравнения Бернулли для построения энергетической диаграммы потока

Рассмотрим трубопровод переменного диаметра, представленный на рис. 1.3. На его входе (сечение 0) поток имеет полную энергию

$$P_П = P_0 + \rho \frac{V_0^2}{2} = P_0 + q_0 \qquad (1.9)$$

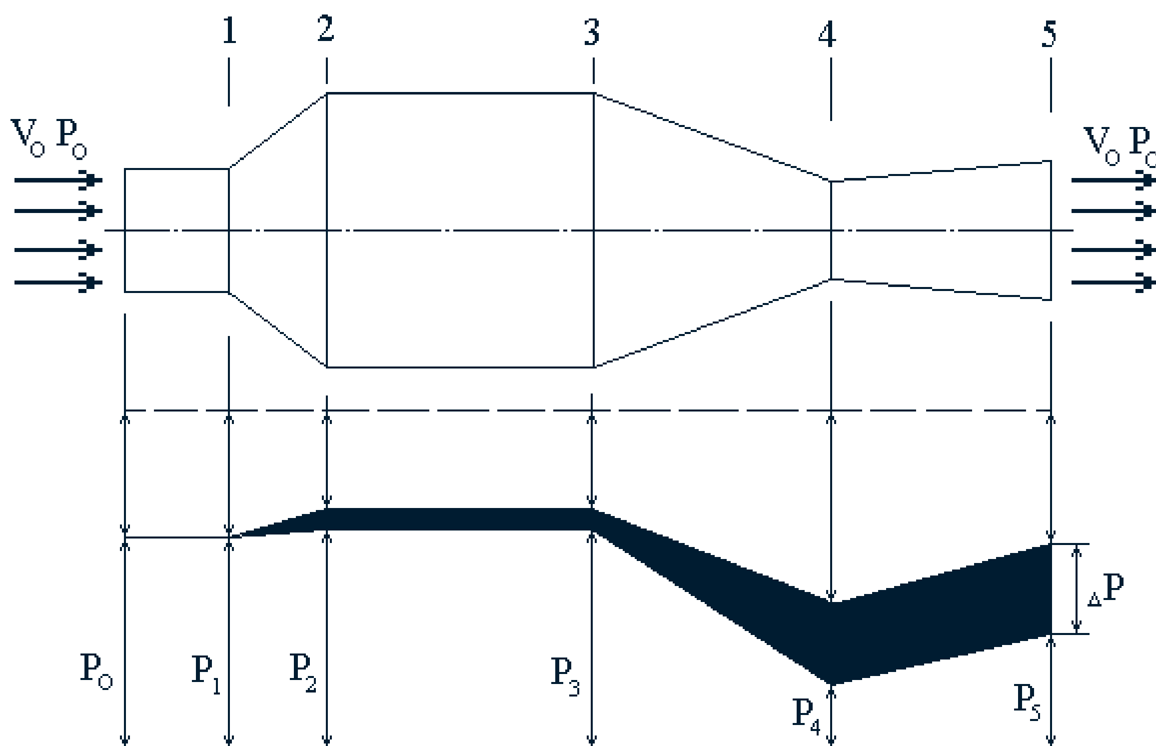


Рис. 1.3 Энергетическая диаграмма потока в трубопроводах переменного диаметра

Так как трубопровод не является длинным (длины участков постоянного диаметра соизмеримы с длинами конфузоров и диффузоров), можно пренебречь потерями энергии $\Delta P_{тр}$ на участках между сечениями 0 –1 и 2 – 3. Тогда для сечения 1 имеем: $q_1 = q_0$, $P_1 = P_0$.

Для сечений 1 и 2 уравнение Бернулли имеет вид:

$$P_1 + q_1 = P_2 + q_2 + \Delta P_{12}, \tag{1.10}$$

где ΔP_{12} – потери энергии потока на диффузорном участке трубопровода между сечениями 1 и 2 (ширина заштрихованной полосы на рис. 1.3).

Аналогично для двух оставшихся сечений разного диаметра имеем:

$$P_3 + q_3 = P_4 + q_4 + \Delta P_{34}, \tag{1.11}$$

$$P_4 + q_4 = P_5 + q_5 + \Delta P_{45}, \tag{1.12}$$

Зная площади характерных сечений трубопровода, углы конфузорных и диффузорных участков и используя справочные данные по коэффициентам гидросопротивлений на основе уравнений (1.3) и (1.5), могут быть определены

все параметры потока в характерных сечениях и построена его энергетическая диаграмма. Качественная диаграмма представлена на рис. 1.3. Расчет должен вестись последовательно от входного сечения к выходному.

1.2. Порядок выполнения работы

1.2.1. Ознакомиться с приведенными в п.1.1. теоретическими сведениями.
1.2.2. Получить у преподавателя номер варианта расчетного задания.
1.2.3. Используя данные табл.1.1, рис. 1.4, уравнения, приведенные в п.1.1, произвести расчет энергетических характеристик потока в характерных сечениях. Коэффициенты гидросопротивлений должны быть взяты из справочника:

$$\gamma_К = F(L/d_Г, \alpha_К), \qquad \gamma_Д = F(\alpha_Д, m, \mathrm{Re}).$$

1.2.4. Определить величину статического давления в контрольном сечении X.
1.2.5. Построить количественную диаграмму потока.
1.2.6. Сделать выводы по работе.

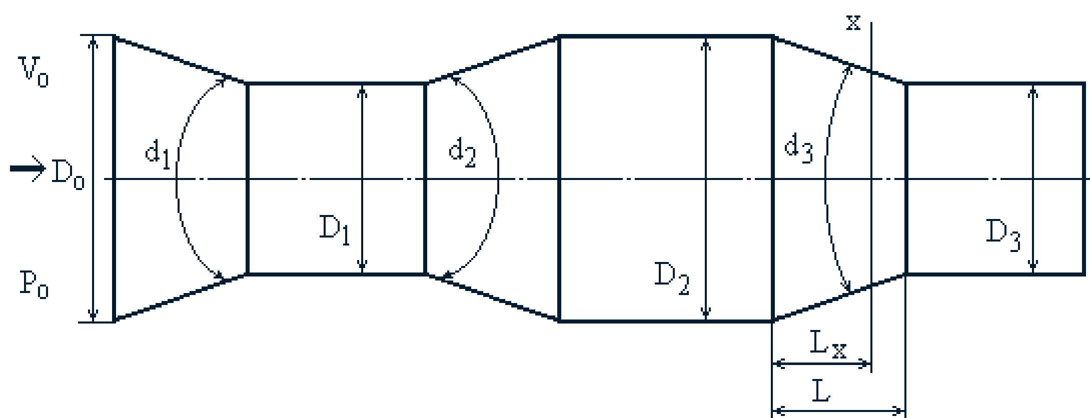


Рис. 1.4 Конфигурация трубопровода для расчета энергетических характеристик потока

1.3. Требование к отчету

Отчет должен содержать: цель работы, исходные данные расчетного задания, результаты расчетов, энергетическую диаграмму потока и выводы.

1.4. Контрольные вопросы

1.4.1. Каким образом перераспределяется полная энергия потока при изменении сечения трубки тока?
1.4.2. Из-за чего происходят потери энергии потока?

1.4.3. Назначение конфузорных и диффузорных участков трубопроводов. Как выбираются их геометрические параметры?

Таблица 1.1

Варианты расчетных заданий

№ варианта	V_0, м/с	α_1, град	α_2, град	α_3, град	D_0, мм	D_1, мм	D_2, мм	D_3, мм	L_X/L
1	40	45	14	60	55	25	40	20	0.85
2	30	60	10	50	50	20	38	16	0.50
3	30	50	6	50	46	22	38	18	0.25
4	30	40	8	45	50	30	46	18	0.30
5	40	45	10	60	44	26	40	20	0.35
6	40	65	12	60	40	20	34	16	0.60
7	30	55	14	60	36	20	30	14	0.75
8	30	50	10	45	50	30	40	24	0.50
9	25	60	10	60	60	30	50	24	0.55
10	35	40	12	40	70	46	60	30	0.85

Примечание: для всех вариантов принять статическое давление потока на входе равным атмосферному (101300 Па) и плотность газа, равную 1,225 кг/м^3.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

2.1.1. Назначение ПСД и его конструкция

Проточный ПСД (рис. 2.1) предназначен для восприятия статического давления потока на вертолетах. Благодаря своей конструкции (отбор давления производится с внутренней профилированной поверхности), приемник является малочувствительным к индуктивным воздушным потокам, создаваемым вращающимися несущими лопастями вертолета и направленными перпендикулярно оси симметрии ПСД.

Основные элементы приемника: кожух 1, профилированный вкладыш 2 с отверстиями отбора давления 3, нагревательный элемент 4, съемный хвостовик 5, кронштейн 6, трубка отбора "статики" 7, соединительные провода 8, фланец крепления 9, штуцер "статики" 10, выводы нагревательного элемента 11.

Статическое давление, отбираемое с внутренней профилированной поверхности, попадает в герметичный кожух приемника и через трубку отбора "статики" подводится к выходному штуцеру. Нагревательный элемент используется для защиты ПСД от обледенения. Питание обогревателя осуществляется от переменного напряжения 115 В. Хвостовик приемника сделан сменным для изменения его статической характеристики.

Проточный ПСД оказывает своей внутренней профилированной поверхностью геометрическое воздействие на воздушный поток, формируя внутри себя трубку тока, состоящую из двух сужающихся (конфузорных) и одного расширяющегося (диффузорного) участка. Согласно уравнениям Бернулли $P_i + \rho V_i^2 = const$ и закону постоянства расхода $S_i V_i = const$, где ρ, P, V – плотность, давление и скорость потока в i-м сечении трубки тока площадью S_i, с помощью такого приемника можно отбирать различные давления при постоянной высоте полета и, следовательно, постоянном давлении набегающего потока. Величина коэффициента давления

$$p = \frac{2(P - P_0)}{\rho V_0^2} \tag{2.1}$$

для данного приемника может изменяться в пределах от –7,0 до +0,8.
Здесь P – давление, воспринимаемое приемником; ρ – плотность воздуха; P_0, V_0 – давление и скорость набегающего потока.

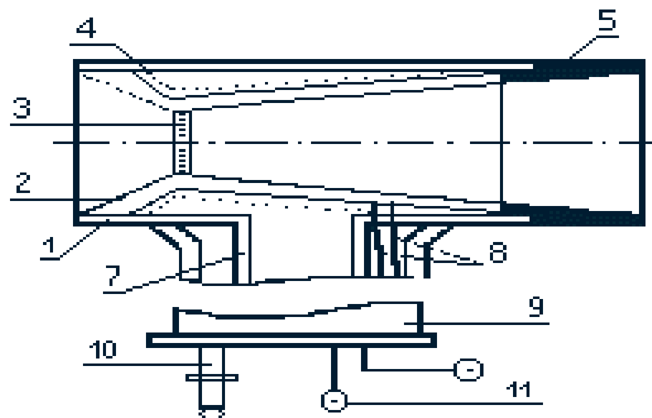


Рис. 2.1. Проточный приемник давления

Если проточный ПСД устанавливается на фюзеляже летательного аппарата в зоне местного нулевого коэффициента давления, p должен быть равен нулю. В этом случае воспринимается неискаженное статическое давление. Очевидно, что ПСД способен "корректировать" давление в зоне установки. Например, если местный подпор давления в области установки приемника на фюзеляже составляет $+0{,}25\rho V_0^2$, для восприятия неискаженного статического давления ПСД должен иметь p = -0.25.

Приемник со значительным отрицательным **p** используется как усилитель динамического давления (скоростного напора). При измерении малых скоростей потока (V_0<20 км/ч) динамическое давление $P_Д = \rho V_0^2 /2 = P_П - P_У$ мало и лежит вне зоны чувствительности механических измерителей скорости. Здесь $P_П$ - полное давление набегающего потока. Если вместо P_0 использовать давление $P_У$, отбираемое из сечения с отрицательным коэффициентом давления

($P_У<P_0$), то динамическое давление $P_{ДУ} = P_П - P_У$ оказывается больше, чем $P_Д$, в $K_У$ раз. Величина $K_У = P_{ДУ} / P_Д = 1 + |\mathbf{p}|$ называется коэффициентом аэродинамического усиления. Наибольший коэффициент усиления достигается при отборе статического давления $P_У$ из минимального сечения (горла) приемника.

2.1.2. Математическая модель проточного ПВД

Рассмотрим энергетическую диаграмму потока для проточного ПВД (рис. 2.2). На приемник набегает поток со скоростью V_0 и динамическим давлением (скоростным напором) $Q_0 = \rho V_0^2 /2$. Давление невозмущенного (набегающего) потока P_0.

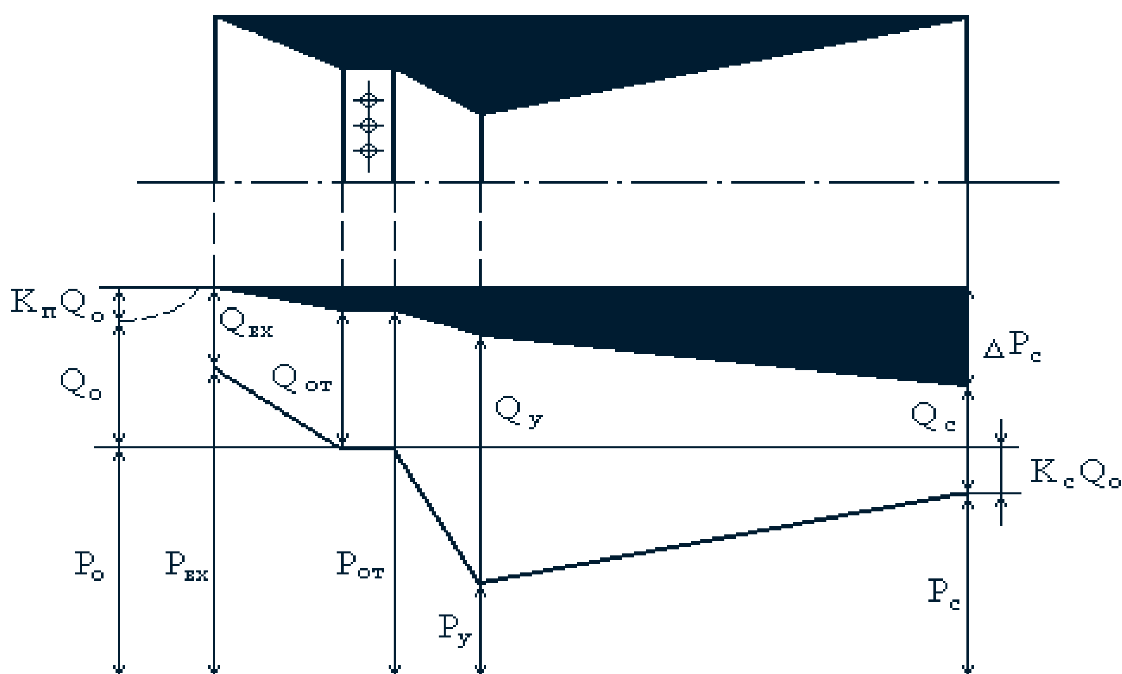


Рис. 2.2 Энергетическая диаграмма для проточного приемника

На первом участке приемника (конфузор) поток разгоняется, а его давление падает. В сечении конфузора с нулевым коэффициентом **p** выполнен цилиндрический участок отбора давления. Цилиндрический участок с отверстиями отбора "статики" является чисто технологическим элементом и, в принципе, может отсутствовать, но точность выполнения отверстий в этом случае должна быть значительно выше.

ПСД обтекается как по наружной, так и по внутренней поверхности. При обтекании внутренней поверхности формируется трубка тока, потери энергии в которой (заштрихованный участок диаграммы) передаются на вход приемника в виде подпора давления. В результате этого поток на входе ПСД несколько тормозится.

При обтекании наружной поверхности за приемником создается зона разрежения, способствующая протеканию потока через ПСД. Скорость газа в

трубке тока определяется перепадом давлений на входе и выходе (аналогично как сила тока в электрической цепи определяется напряжением на данном участке цепи). Поэтому можно рассматривать данное разрежение на срезе приемника как некоторый дополнительный приток энергии в систему, учитываемый искусственным увеличением энергии набегающего потока. Учитывая вышесказанное и используя уравнение Бернулли, получим выражение –для коэффициента давления приемника.

Полная энергия на входе ПСД $P_{ПВХ}$ выражается следующим образом:

$$P_{П.ВХ.} = P_{ВХ} + Q_{ВХ} = P_0 + Q_0 + K_П Q_0 = P_0 + Q_0(1 + K_П), \qquad (2.2)$$

где $K_П$ – коэффициент притока энергии, имеющий место вследствие образования зоны пониженного давления на срезе приемника;

$P_{ВХ}$, $Q_{ВХ}$ – давление и скорость потока на входе.

Давление $P_{ВХ}$ больше P_0 на величину $\Delta P_С$, где $\Delta P_С$ – суммарные потери напора на всем протяжении трубки тока; $К_С$ – коэффициент давления на срезе, численно равный разности P_0 и давления на срезе $P_{С,}$ отнесенной к скоростному напору набегающего потока $\{К_С=(P_0-P_С)/Q_0\}$.

Для участка отбора давления справедливо:

$$Q_{ОТ} + P_{ОТ} + \Delta P_{К1} = P_0 + Q_0(1 + K_П), \qquad (2.3)$$

где $Q_{ОТ}$, $P_{ОТ}$ – скоростной напор и давление на цилиндрическом участке;

$\Delta P_{К1}$ - потери напора на первом конфузоре.

На участке приемника от сечения отбора давления до узкой части (горла) ПСД давление продолжает падать и становится меньше статического P_0, скоростной напор увеличивается и достигает максимального значения.

Для узкой части справедливо

$$Q_У + P_У + \Delta P_{К1} + \Delta P_{К2} = P_0 + Q_0(1 + K_П), \qquad (2.4)$$

где $\Delta P_{К2}$ – потери давления на втором конфузоре;

$P_У$, $Q_У$ – давление и скоростной напор в узкой части ПСД.

На участке от горла до среза приемника (диффузор) также имеют место потери энергии потока $\Delta P_Д$. Здесь статическое давление увеличивается, а скорость уменьшается. Уравнение Бернулли для среза ПСД имеет вид:

$$Q_С + P_С + \Delta P_С = P_0 + Q_0(1 + K_П), \qquad (2.5)$$

где $Q_С$ – скоростной напор на срезе;

$\Delta P_С$ – суммарные потери напора на всем проточном тракте.

Учитывая рассмотренное выше изменение энергии потока по длине приемника, можно получить формулу для связи коэффициента давления ПСД с его геометрическими параметрами и скоростью набегающего потока.

Величины потерь энергии для конфузорных и диффузорных участков принято выражать следующим образом:

$$\Delta P = \gamma Q_{У} , \qquad (2.6)$$

где γ – коэффициент гидравлического сопротивления участка;

$Q_{У}$ – динамическое давление потока в наименьшем (узком) сечении конфузора и диффузора.

Примечание. Коэффициенты γ для рассматриваемых участков приводятся в справочниках и определяются экспериментально. Их величины принято соотносить к скоростному напору в узкой части конфузоров и диффузоров. Учитывая (2.6) и уравнение постоянства расхода из (2.3), имеем:

$$P_{OT} + \frac{Q_{BX}}{m_{OT}^2} + \gamma_{K1} \frac{Q_{BX}}{m^2} = P_0 + Q_0 (1 + K_{П}) , \qquad (2.7)$$

где $m_{OT} = \dfrac{S_{OT}}{S_{BX}}$ - коэффициент диафрагмы сечения отбора давления, численно равный отношению площадей сечений отбора давления и входа приемника;

$m = \dfrac{S_{У}}{S_{BX}}$ - коэффициент диафрагмы ПСД, численно равный отношению площади узкой части к площади входа приемника;

γ_{K1} - коэффициент гидросопротивления первого конфузора.

Из (2.7) получим:

$$P_{OT} - P_0 = Q_0 (1 + K_{П}) - \frac{Q_{BX}}{m_{OT}^2} - \gamma_{K1} \frac{Q_{BX}}{m^2} \qquad (2.8)$$

Для входного сечения можно записать:

$$P_0 + Q_0 (1 + K_{П}) = P_0 + \gamma_C \frac{Q_{BX}}{m^2} Q_0 K_C + Q_{BX} , \qquad (2.9)$$

где γ_C – суммарный коэффициент гидросопротивления на всем протоке.

Из (2.9) следует:

$$Q_0 (1 + K_{П} + K_C) = Q_{BX} \{\gamma_C / m^2 + 1\} \qquad (2.10)$$

Поделив в (2.10) Q_{BX} на Q_0 имеем:

$$\frac{Q_{BX}}{Q_0}=\frac{(1+K_П+K_C)}{(\gamma_C/m^2+1)} \qquad (2.11)$$

Подставим (2.11) в (2.8) и поделим обе части полученного выражения на Q_0:

$$\frac{P_{OT}-P_0}{Q_0}=p=1+K_П-\frac{1+K_П+K_C}{(\gamma_C/m^2+1)}\left(\frac{1}{m_{OT}^2}+\frac{\gamma_{K1}}{m^2}\right) \qquad (2.12)$$

Выражение (2.12) связывает коэффициент давления приемника с его геометрическими параметрами и скоростью набегающего потока. От геометрических параметров ПСД зависят величины: $m_{ОТ}$, m, $\gamma_С$, $\gamma_{К1}$, $К_П$, $К_С$. Скорость набегающего потока оказывает наибольшее влияние на $\gamma_С$. Коэффициент $\gamma_{К1}$ зависит от скорости только при малых числах Рейнольдса. При V_0 > 50 км/ч $\gamma_{К1}$ для серийных бортовых приемников от скорости V_0 практически не зависит и определяется только геометрией соответствующего участка.

Для расчета **p** в соответствии с моделью (2.12) расчетно-экспериментальным путем получены зависимости коэффициентов $К_П$, $К_С$ от геометрических параметров приемника. Как показали экспериментальные исследования, скорость V_0 оказывает очень малое влияние на $К_П$, $К_С$. Поэтому можно считать, что соответствующие величины в (2.12) определяются только геометрическими параметрами проточной части ПСД.

Рассмотренная выше модель реализована на ПЭВМ типа IBM PC и является составной частью интерактивной системы синтеза проточных приемников статического давления.

2.2. Порядок выполнения работы

В данной работе экспериментальные исследований ПСД заменены исследованиями его математической модели. Моделирование осуществляется на ПЭВМ. Используемая программа позволяет рассчитать коэффициент давления приемника по его геометрическим параметрам:

$D_{ВХ}$ - диаметр входа;
$D_У$ - диаметр узкой части;
$D_{ОТ}$ - диаметр отбора давления;
$\alpha_К$ - угол сужения конфузора;
$\alpha_Д$ - угол раскрытия диффузора

для заданной скорости набегающего потока V_0.

2.2.1. Изучить теоретические сведения, содержащиеся в п.2.1.

2.2.2. Получить у преподавателя вариант выполняемого задания (табл. 2.1, 2.2, 2.3).

2.2.3. Снять скоростную характеристику ПСД заданной конфигурации для V_0 = 50 … 250 км/ч. Построить график и рассчитать девиацию коэффициента давления Δ**p** как разность максимального $\mathbf{p}_{max}$ и минимального $\mathbf{p}_{min}$ коэф-

фициентов давлений для указанного скоростного диапазона ($\Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_{max} - \mathbf{p}_{min}$). Сделать выводы.

2.2.4. Исследовать возможность использования приемника в качестве пневмоусилителя. Для чего, полагая $D_{ОТ} = D_{У}$, снять скоростную характеристику ПСД и построить график зависимости коэффициента аэродинамического усиления $К_{У} = 1 + |\mathbf{p}|$ от скорости (V_0 = 50 … 250 км/ч). Рассчитать усиленное динамическое давление $Р_{У} = К_{У} Р_{Д} = \rho V_0^2 / 2$, $Р_{Д}$ – динамическое давление набегающего потока, ρ = 1,225 кг/м^3 – плотность воздуха. Построить на одном графике зависимости $Р_{Д} = F(V_0)$ и $Р_{ДУ} = F(V_0)$. Сделать выводы.

2.2.5. Определить влияние геометрических параметров приемника на коэффициент аэродинамического усиления $К_{У} = 1 + |\mathbf{p}|$ ($D_{ОТ} = D_{У}$). С этой целью для приемника с заданными геометрическими параметрами снять зависимости $К_{У} = F(\alpha_{К})$, $К_{У} = F(\alpha_{Д})$, $К_{У} = F(m)$.

Примечание: величины $\alpha_{К}$, $\alpha_{Д}$, $D_{У}$ должны изменяться в пределах ± 30% от заданных в табл.2.1.

2.2.6. Для приемника заданной конфигурации определить максимально возможное значение положительного коэффициента для скоростного диапазона 50…250 км/ч.

Примечание: указанное предельное соотношение обусловлено конструктивными особенностями ПСД.

2.2.7. Найти геометрические параметры проточного приемника по заданной в табл.2.2 скоростной характеристике. Допустимая погрешность не более 10%.

2.2.8. Найти геометрические параметры проточного пневмоусилителя ($D_{от} = D_{у}$) по заданной в табл.2.3 зависимости $К_{у} = F(V_{о})$. Допустимая погрешность не более 10%.

Примечание: искомые геометрические параметры (п.2.2.7, 2.2.8) не должны выходить за следующие интервалы:

$D_{вх}$ = 20…35 мм;
$D_{у}$ = 10…19 мм;
$\alpha_{к}$ = 30…70 градусов;
$\alpha_{д}$ = 6…16 градусов.

2.3. Содержание отчета

Отчет должен содержать: цель работы; эскиз исследуемого приемника с указанием основных размеров; результаты моделирования; требуемые графики и выводы.

2.4. Контрольные вопросы

2.4.1. Назначение проточных приемников статического давления.

2.4.2. Что такое пневмоусиление?

2.4.3. Математическая модель проточного ПВД.

2.4.4. Что такое гидросопротивление и как оно сказывается на энергетике потока в проточной части приемника?

Таблица 2.1

Варианты исследуемых приемников

№ вар-ианта	$\alpha_К$, град	$\alpha_Д$, град	$D_{ВХ}$, мм	$D_У$, мм	$D_{ОТ}$, мм
1	60	8	30	20	24,25
2	55	9	30	18	24,00
3	40	10	30	17	22,50
4	37	11	30	16	21,50
5	60	12	27	14	20,00
6	55	13	27	13	21,00
7	40	14	27	12	20,00
8	40	15	32	17	25,00
9	45	16	32	18	24,00

Таблица 2.2

Варианты скоростных характеристик приемников (**p**10^{-3})

Скорость V_0, км/ч № вар-ианта	50	80	100	120	150	180	200	220	250
1	480	411	364	310	323	202	177	154	119
2	173	090	031	-033	-128	-167	-195	-221	-262
3	-008	-087	-141	-201	-254	-294	-323	-350	-388
4	056	-021	-073	-131	-194	-229	-253	-227	-312
5	209	139	-092	037	-020	-052	-075	-097	-129
6	-192	-256	-313	-365	-449	-481	-501	-520	-549
7	-143	-136	-201	-274	-343	-389	-420	-450	-494
8	249	170	115	053	-007	-044	-072	-098	-137
9	299	-391	-453	522	-596	-639	667	-693	733

Таблица 2.3

Варианты характеристик пневмоусилителей $К_у = F(V_о)$

Скорость V_0, км/ч № варианта	50	80	100	120	150	180	200	220	250
1	5.71	6.02	6.26	6.50	6.85	7.02	7.11	7.19	7.32
2	6.20	6.58	6.89	7.17	7.63	7.83	7.94	8.04	8.20
3	4.92	5.21	5.42	5.64	6.03	6.20	6.31	6.41	6.56
4	6.12	6.48	6.75	7.01	7.36	7.55	7.65	7.74	7.89
5	5.84	6.12	6.32	6.52	6.81	6.96	7.03	7.10	7.21
6	5.79	6.10	6.32	6.56	6.85	7.03	7.12	7.20	7.34
7	6.05	6.38	6.62	6.86	7.28	7.54	7.62	7.70	7.83
8	5.89	6.18	6.39	6.60	6.95	7.12	7.19	7.26	7.37
9	6.12	6.48	6.74	7.03	7.49	7.73	7.82	7.90	7.05

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ПРИЕМНИКОВ СТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Цель работы: изучение конструктивной схемы и принципа действия многоканального приемника статического давления (ПСД) с наружной профилированной поверхностью; математическое моделирование приемников различной конфигурации.

3.1. Общие сведения

Измерение барометрической высоты и скорости перемещения летательных аппаратов (ЛА) относительно воздушной среды невозможно без получения информации на борту о статическом и полном давлениях набегающего потока. Данную задачу решают специальные устройства – приемники воздушных давлений. Рассмотрим один из типов таких приемников – многоканальный (ПСД) с наружной профилированной поверхностью.

Внешний вид базового ПСД показан на рис. 3.1. Основные элементы приемника: входная цилиндрическая часть 1; профилированный участок 2, состоящий из двух гофров; кронштейн крепления 3; основание 4 со штуцерами статического давления 5. Восприятие статического давления осуществляется через отверстия 6. В представленном варианте воспринимаются два давления: левым рядом отверстий – давление P_1, правым – давление P_2.

При обтекании ПСД набегающим потоком воздуха вокруг приемника формируется трубка тока, имеющая (в первом приближении) вид цилиндра

(рис. 3.1). Очевидно, что профилированный участок оказывает геометрическое воздействие на воздушный поток, заключающееся в сужении или расширении трубки тока. Согласно уравнению Бернулли:

$$P_1 + \rho \frac{V_0^{\,2}}{2} = const \qquad (3.1)$$

и закону постоянства расхода S_iV_i = const,

где V_i – скорость потока в сечении трубки тока площадью S_i.

Величина $p_i = (P_i\text{-}P_0)/q_0$, где P_0, q_0 - давление и скоростной напор набегающего потока ($q_0 = \rho V_0^2 / 2$), называется коэффициентом давления в i-м сечении.

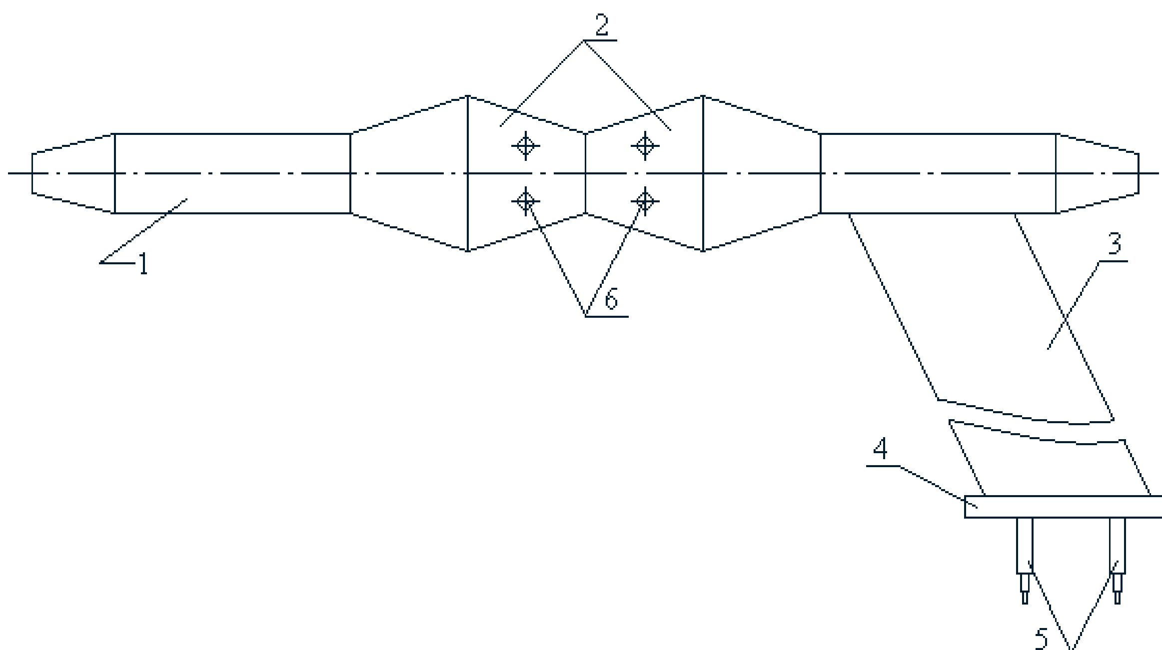


Рис. 3.1. Общий вид многоканального приемника статического давления

Основные геометрические параметры профилированного участка:

$D_{ВХ}$ - диаметр входной части;

$D_Г$ - диаметр гофра;

L_X - удаление сечения отбора давления от входа;

L - длина профилированного участка;

L = L_X/L – координата сечения отбора давления.

Как видно из рис. 3.2, на профилированном участке выделяются области повышенного (P_i>P_0) и пониженного (P_i<P_0) давлений. Это позволяет устанавливать приемник на фюзеляже ЛА в зонах местных подпоров и разрежений. Например, если ПСД устанавливается на фюзеляже вертолета в зоне местного подпора +0,15q_0 (местный коэффициент давления на фюзеляже равен +0,15), а приемник воспринимает давление через отверстия, выполненные в сечении с

коэффициентом давления равным –0,15, на выходе ПСД получается неискаженное статическое давление P_0.

Приемник рассматриваемой конструктивной схемы применяется:

- для организации нескольких линий статического давления с равными или разными коэффициентами давлений;
- в качестве пневмоусилителя (усилителя динамического давления) при измерении скорости ЛА относительно воздуха;
- для компенсации местных подпоров и разрежений в зонах установки ПСД.

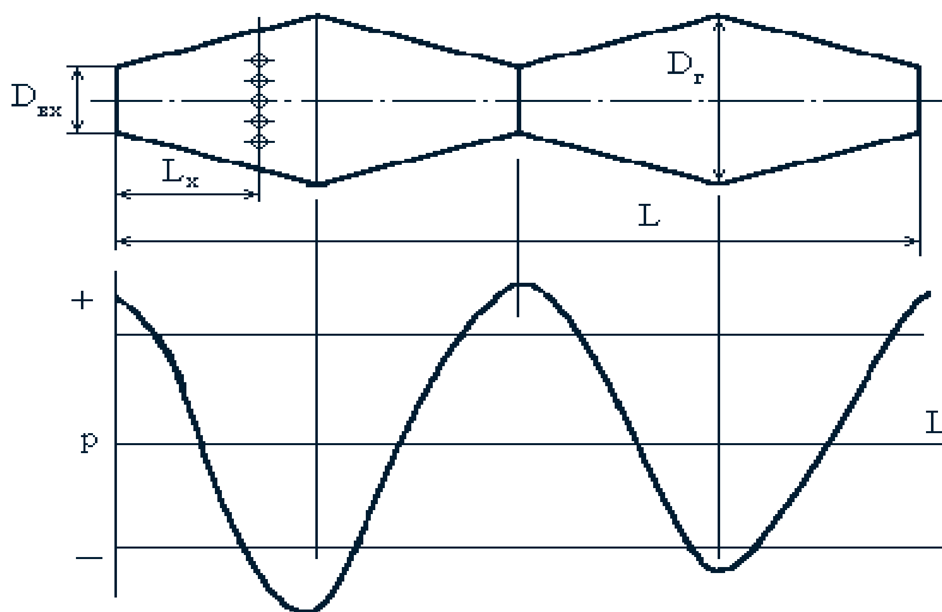


Рис. 3.2. Распределение давления по профилированному участку приемника

Рассмотрим вкратце эти применения.

Организация нескольких линий "статики" необходима с целью развязки по питанию различных групп приборов. Статическое давление обычно подается внутрь корпусов приборов, имеющих различный объем. Вследствие этого при изменении давления происходит перетекание воздуха из одного корпуса в другой. Кроме этого в корпусах большого объема (корректоры скорости, высоты и др.) давление устанавливается со значительным запаздыванием. Для уменьшения динамических погрешностей при измерении высоты и скорости соответствующие приборы объединяют в группы и подключают их к различным линиям "статики". С другой стороны, увеличение количества линий статического давления диктуется требованиями безопасности полетов (резервирование).

Воздушная скорость на ЛА определяется на основе измерения динамического давления набегающего потока:

$$P_Д = \rho \frac{V_0^2}{2} = P_П - P_0, \qquad (3.3)$$

где $P_П$ – полное давление потока, воспринимаемое специальным приемником.

На малых скоростях полета (V < 20 …30 км/ч) величина $P_Д$ мала, что затрудняет измерение V, близких к нулю. Отбирая статическое давление с поверхности профилированного участка ПСД в зоне отрицательного коэффициента давления, можно искусственно увеличить значение динамического давления $P_У = P_П - P_i$, т.к. $P_i < P_0$. Однако пневмоусиление, получаемое с помощью такого приемника, невелико (коэффициент усиления не более двух единиц). В качестве пневмоусилителей гораздо лучше работают проточные ПСД, имеющие внутреннюю профилированную поверхность.

Компенсация местных подпоров и разрежений является актуальной задачей, т.к. зачастую не удается разместить приемник в зоне нулевого коэффициента давления на фюзеляже ЛА. Следует отметить, что на тяжелых самолетах, наряду с механическими измерителями высотно-скоростных параметров, используются электромеханические приборы и системы воздушных сигналов, которые имеют вычислители аэродинамических поправок. Поэтому такие устройства могут подключаться к обычным ПСД без компенсационных контуров (гофров).

Важной характеристикой ПСД является зависимость $\mathbf{p}_i = F(V_0)$, называемая скоростной характеристикой. Она представляет связь коэффициента давления в рассматриваемом i-м сечении со скоростью набегающего потока. Именно эта характеристика и составляет основу технического задания (ТЗ) на разработку приемника. В ТЗ указываются следующие основные параметры:

количество отбираемых давлений;
средние значения коэффициентов этих давлений;
скоростные характеристики $\mathbf{p}_i = F(V_0)$;
предельные габариты устройства и его масса.

Вид функции $\mathbf{p}_i = F(V_0)$, определяется зависимостью коэффициента давления в зоне установки ПСД от V_0, и потребителями, подключаемыми к данному каналу "статики". Величина

$$\Delta \mathbf{p}_i = \mathbf{p}_i^{max} - \mathbf{p}_i^{min}, \qquad (3.4)$$

Где $\mathbf{p}_i^{max}$, $\mathbf{p}_i^{mix}$ – максимальный и минимальный коэффициенты давлений для i-го сечения при изменении V_o в заданном диапазоне называются девиацией коэффициента давления в i-м сечении. Если в зоне установки ПСД коэффициент давления не зависит от скорости, величину $\Delta \mathbf{p}_i$ стремятся свести к минимуму.

3.2. Порядок выполнения работы

Экспериментальные исследования ПСД заменены его математическим моделированием. Программа моделирования реализована на ПЭВМ типа IBM PC.

3.2.1. Изучить теоретические сведения, содержащиеся в п.3.1.

3.2.2. Получить у преподавателя номер варианта выполняемого задания (табл.3.1 и3.2).

3.2.3. Снять скоростную характеристику ПСД заданной конфигурации (Vo = 20…250 км/ч), построить график и рассчитать девиацию коэффициента давления в соответствии с формулой (3.4). Сделать выводы.

3.2.4. Построить эпюру распределения давления по профилированному участку для заданной скорости (аналогично рис.3.2). Величина **L** должна изменяться в диапазоне от 0.05 до 0.95 (не менее 10 точек с обязательным включением значений **L**=0.25 и **L**=0.75). Сделать заключение о возможности компенсации с помощью такого приемника местных подпоров и разрежений на фюзеляже ЛА.

3.2.5. Для заданной конфигурации приемника найти все возможные значения **L**, при которых коэффициент давления равен нулю или более всего приближается к нулевому значению. Определить девиацию коэффициента давления для каждого найденного сечения. Сделать выводы.

3.2.6. Определить, в каком сечении приемника статическое давление Ру минимально. Найти зависимость коэффициента аэродинамического усиления $К_у=1+|\mathbf{p}|$ (для данного сечения) от скорости $V_о$, изменяющийся в интервале 20…250 км/ч. Построить график зависимости $Ку=F(V_о)$. Рассчитать динамическое давление $Р_{ду}=Р_п-Р_у=Р_д(1+|\mathbf{p}|)=Р_дК_у$ для скоростей:20, 30, 40, 50, 80, 100, 120, 150, 180, 200, 220 и 250 км/ч.

Здесь $Р_{ду}$ – усиленное динамическое давление, получаемое как разность полного давления набегающего потока $Р_п$ и давления, отбираемого из найденного сечения $Р_у$.

$Р_д=\rho V_о^2/2$ – динамическое давление набегающего потока (ρ=1.225 кг/м^3).

Построить на одном графике зависимости $Р_у=F(V_о)$ и $Р_д=F(V_о)$. Сделать выводы.

3.2.7. Найти геометрические параметры профилированного участка приемника ($D_{ВХ}$, $D_Г$, **L**) по заданной в табл. 3.2 скоростной характеристике **p** = $F(V_0)$. Отклонение скоростной характеристики ПСД с искомыми параметрами от заданной не должно превышать 10 %. Искомые геометрические параметры не должны выходить за следующие ограничения: $D_{ВХ}$ = 5 … 16 мм; $D_Г$ = 10… 25 мм; **L** = 0,05 …0,95.

3.3. Содержание отчета

Отчет должен содержать: цель работы; эскиз профилированного участка исследуемого приемника с указанием параметров $D_{ВХ}$, $D_{Г}$, **L**; результаты исследований; необходимые графики и выводы.

3.4. Контрольные вопросы

3.4.1. Назначение приемников воздушных давлений.
3.4.2. Что такое коэффициент давления приемника и от чего он зависит?
3.4.3. Для чего применяются многоканальные ПСД с компенсационными гофрами?
3.4.4. Что такое аэродинамическое усиление? Каково максимальное усиление динамического давления, достигаемое с помощью многоканального ПСД с наружной профилированной поверхностью?

Таблица 3.1

Варианты исследуемых приемников

№ варианта	$D_{вх}$, мм	$D_{Г}$, мм	**L** = L_X / L	V_0, км/ч
1	12	16	0,25	120
2	12	17	0,20	150
3	12	18	0,25	180
4	13	18	0,55	200
5	13	19	0,35	220
6	13	20	0,25	150
7	14	18	0,20	180
8	14	20	0,75	200
9	14	22	0,30	220

Таблица 3.2

Варианты скоростных характеристик приемников (**p**10^{-3})

Скорость V_0, км/ч № варианта	20	30	40	50	80	100	150	180	200	220	250
1	-531	-567	-594	-607	-626	-634	-655	-672	-689	-707	-737
2	-371	-353	-335	-318	-301	-297	-274	-275	-271	-267	-267
3	162	152	141	137	133	128	110	105	96	89	86
4	134	119	105	104	108	98	90	88	83	77	75
5	-190	-203	-205	-206	-212	-219	-231	-244	-251	-256	-262

6	-184	-193	-191	-194	-203	-214	-226	-238	-241	-245	-250
7	-518	-556	-573	-587	-600	-611	-643	-671	-693	-721	-741
8	-518	-542	-557	-578	-588	-615	-625	-634	-643	-657	-663
9	114	112	125	117	118	119	109	108	103	102	102

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. М.: Физматгиз, 1960. 715 с.
2. Авиационное и радиоэлектронное оборудование вертолета К-26 / Е. Д. Сытин, К. П. Чупин, С. И. Шполянский, В. П. Янин. М.: Транспорт, 1976. 550 с.
3. Браславский Д. А. Приборы и датчики летательных аппаратов: Учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1970. 392 с.
4. Дейч М. Е. Техническая термодинамика. М.: Энергия, 1974. 552 с.
5. Ефимов И. П., Конюхов К. А., Федоров Н. Г. К расчету многоканальных приемников воздушных давлений / УлГТУ. Ульяновск, 1993. Деп. В ВИНИТИ. ДР 5128 – пр. 07.93. 6 с.
6. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
7. Исследование приемников давления для вертолетов. Отчет по НИР. Науч. рук. Н. Г. Федоров. Исп. Г. А. Конюхов, Н. В. Короткова, К. Н. Сорокин. - № 12 – 2/84. № ГР 0182.6025057. Ульяновск: УлГТУ, 1985. 92 с.
8. Исследование проточных приемников давления для вертолетов / Исследование проточных давлений для вертолетов. Отчет по НИР. Науч. рук. Н. Г. Федоров. Исп. Г. А. Конюхов, Н. В. Короткова. - № 12 – 58/86. № ГР 0186.0046939. Ульяновск: УлГТУ, 1987. 97 с.
9. Мартынов А. К. Прикладная аэродинамика. М.: Машиностроение, 1972. 448 с.
10. Петунин А. Н. Методы и техника измерений параметров газового потока (приемники давления и скоростного напора). М.: Машиностроение, 1972. 332 с.
11. Повх И. Л. техническая гидромеханика: Учебное пособие. М.: Машиностроение, 1976.
12. Сергель О. С. Прикладная гидрогазодинамика. М.: Машиностроение, 1981. 374 с.
13. Справочник инженера по навигационному и радиоэлектронному оборудованию самолетов и вертолетов / В. Г. Александров, Б. И. Базанов, А. В. Майоров и др. Под ред. В. Г. Александрова. М.: Транспорт, 1978. 408 с.
14. Фабрикант Н. Я. Аэродинамика. М.: Наука, 1964. 814 с.
15. Шлихтинг Г. теория пограничного слоя: Пер. с нем. М.: Наука, 1974. 711 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение ………………………………………………………………………… 2
Основные правила по технике безопасности ………………………………… 2
1. Лабораторная работа № 1 "Расчет энергетических характеристик потока в трубопроводах переменного сечения" ……………………………………. 3
2. Лабораторная работа № 2 "Исследование проточных приемников статического давления" ……………………………………………………………. 9
3. Лабораторная работа № 3 "Исследование многоканальных приемников статического давления" ………………………………………………………… 17
Список литературы ……………………………………………………………... 24